

符号化アレイ探触子を用いた管内音響撮像

60200130 山本 一貴
発表日 2019 年 7 月 18 日

松井先生の質問

Q. CT や MRI で用いられるアダマール変換などの直交変換と M 系列での符号化との差異は何か

A. 基底変換をするのではなく、異なる場所からの受信波それぞれに直交性を持たせるために符号化を行っている。

MRI などの NMR を用いた技術において、勾配磁場により対象の異なる場所からの NMR 信号はそれぞれ異なる周波数を持つため、直交変換によりスペクトル分析が可能であるが、超音波の反射波を単一の受信子で受信しても、同じ距離の点にある物体であれば同じ波形の信号となるので距離情報しか取り出せない。よって、受信の際にアレイ素子による符号化で角度の情報を付与している。信号の分析のために直交変換するのではなく、受信の方法を変えることで直交性を持たせるということなので、MRI などに用いられる直交変換との関連性はない。

研究背景について

Q. 流量計測にはどのようなものがあるか。

A. 差圧式や電磁式などがある。

差圧式は、流体内のエネルギーの総和が流線上で一定であるというベルヌーイの定理を利用したもので、管内に流れの圧力を計測するセンサを配置し、圧力差から流速を算出、断面積をかけて流量を計測するというもの。

電磁式は、導電性のある流体が磁場の中を移動したときの起電力を利用したもの。

また、超音波式は、流体の流れ方向の音速が大きくなることを利用する伝搬時間差式と、内部の不純物に反射したときに周波数が変化することを利用したドップラー式がある。

そのほか、いくつかの手法があるが、それぞれ制約が存在する。以下にいくつか抜粋して示す。

方式	説明	制約・欠点
差圧式	管内に圧力差を発生させて測定	圧力損失・設置が難しい
電磁式	管内の流体の動きから起電力を発生	導電性のある液体のみ対象
熱式	流体を熱して温度上昇から測定	温度変化誤差・流体の性質に依存
コリオリ式	コリオリの力による振動変化を利用	圧力損失・振動による誤差
超音波式	伝搬時間・周波数の変化を利用	気泡による散乱に弱い

Q. 気泡を撮像する理由は何か。気泡の画像からどのように流量を出すのか。

A. 気泡による影響を考慮して計測を行う。

伝搬時間差式だと、管内に気泡があると超音波が散乱し信号が小さくなり測定ができない。また、ドップラー式を用いても誤差は大きい。（フルスケールに対し誤差 5% ~ 10% ほど）よって、気泡の量を使って誤差を補正するような方法を考えている。画像からそのまま流量を出すわけではない。また流量計測は今回の到達目標ではなく、将来的に出来るかもしれないという展望である。

Q. 誤差の原因は気泡だけか.

A. 管の肉厚や超音波の屈折により誤差が生じることがある. しかし, 前述のように気泡での超音波の散乱による誤差の影響が大きいので, 今回はこれを対象としている.

提案手法について

Q. 使用する探触子はどのようなものか. アレイ探触子の欠点はあるか.

A. 送信波は無指向に近いほど良いのでなるべく開口の小さい探触子を用いる. 受信素子は, シミュレーションでは点で受信しているが, 実際に作製する場合は1素子あたりの幅を0.15mmとする予定である. 加工ができるのであれば幅は狭いほうが好ましい.

アレイ探触子は製作が難しいという点があげられる. 走査式であれば, それぞれの素子に個別に電極を取り付け, 指向性の高いビームを照射するために正確な制御を必要とするため, さらに難度が高い.

この点に関して, 高分子圧電膜を用いる場合, 分極処理を部分的に行うことで, 膜内にアレイ素子を作り出すことができる. また, 提案手法では受信波形をすべての素子の和で取得するため, 電極を分割する必要がなく, 製作が容易となる.

Q. 直交性とはなにか

A. 他の信号との相関が0になるという性質のこと. ここでの直交性は, ある1点からの反射波を取った受信波形と他の点からの反射波を取った受信波形が無相関であることを示す.

シミュレーションとその結果について

Q. シミュレーションのパラメータはどのように設定したか.

A. 直径8mmの管と流体(水)を対象に, 以下の式で表される2次元FDTD法の解の安定条件(クラン条件)を満たすよう, 時間と空間の離散幅を決定した.

$$\Delta t \leq \frac{\Delta s}{\sqrt{2}C} \quad \Delta t: \text{時間離散幅[s]} \quad \Delta s: \text{空間離散幅[m]} \quad C: \text{音速}$$

Q. 流速が速いなど, 条件が変わると撮像できないことは考えられるか.

A. 考えられるが, 現在想定している流速の範囲内では問題はない.

流速があまりに速い場合, 撮像にかかる時間が追いつかないほか, 管内の様相も変化してしまうことが考えられるため, 撮像はできない. ただし, 現在想定しているのは, 飲料水などが流れる管なので, 撮像速度は十分に速いと考えている.

Q. 気泡の形状や数が変わっても撮像が可能か.

A. 可能であると考えているが, 確認は不十分である.

現在シミュレーションで確認できているのは, 気泡が2つの場合のみで, これは目視で判別できる程度には撮像ができている.

先行研究では, 対象の形状や大きさが変わっても物体が点の集合であると考えたと撮像は可能だとしていたが, 確認はされておらず, シミュレーションでも像は取得できなかった.

これについては今後原因と解決法を検討する必要がある.

Q. 像がきれいに出ているという画像にもノイズがあったが、問題はないか。

A. 濃淡画像で示しているため、小さい相関でも多少白くなっていたが、相関値としては最大値の半値未満であるため、問題はないと考える。ただし、複数の対象がある場合にはこのノイズが影響してくることは考えられる。これについては今後検討する。

Q. 多重反射は管の径が大きければ解決するのではないか

A. 対象とする管の制約により大きくすることはできない。また、大きくしても近傍を観測できないことには変わりはない。

Q. シミュレーションと実際の計測で変化することはあるか

A. 気泡の大きさは今回示したものよりも大きくなることが想定される。また、送信波は理想的な点音源であり、指向性が考慮されていないこと、気泡からの反射に音響インピーダンスは考慮していないことなどから、シミュレーションはあくまで傾向の確認という段階である。

スライド・発表について

Q. スライド二枚目の図について説明してほしい

A. 管の断面の経時的な変化を表した図で、これらを管の外部から計測し、画像として提示することを今回の目的としている。

Q. 従来の撮像時間は 60[ms]と書いてあったが、口頭では 60[μs]と言っていた。どちらが正しいか

A. 60[ms]が正しい。提案手法では 0.006[ms]ほどになるため、大幅な短縮となる。